UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI
Faculté des Sciences de Tétouan
Département de Physique

T P

D'ELECTRICITE
&
OPTIQUE

1ère année STU – SVT

MODULE : PHYSIQUE 2



PLAN DU MANUEL

Page

GENERALITES

MANIPULATIONS

Page

Electricité

Optique



GENERALITES

1 / INCERTUTUDES DE MESURES

Toute mesure est toujours entachée d'une certaine erreur. Ceci est dû aux imperfections de l'instrument de mesure et de l'expérimentateur. La grandeur que l'on mesure est définie avec une précision limitée.

1.1/ Types d'erreurs

On distingue deux types d'erreurs

a) **Erreurs systématiques :** Elles proviennent d'un défaut de l'instrument ou d'une mauvaise méthode de mesure.

Exemple : Mesurer une masse avec une boite contenant des masses marquées inexactes ; mesurer la température d'un liquide avec un thermomètre dont on n'a pas contrôlé le zéro.

b) **Erreurs accidentelles :** Si on recommence plusieurs fois la même mesure d'une grandeur invariable on n'obtient jamais le même résultat, mais tantôt un peu plus et tantôt un peu moins qu'à la première mesure. Ces erreurs sont appelées « erreurs accidentelles » Elles sont dues au manque de fidélité de l'instrument et aussi aux mauvais réflexes de l'opérateur. L 'emploi des méthodes statistiques (Cf I-3-b) permet d'analyser ces erreurs et de réduire leur influence sur le résultat final.

I .2/ Incertitudes absolue et relative :

Considérons une grandeur G. Le résultat d'une mesure de G est donc toujours entachée d'une erreur inconnue difficile à déterminer avec précision .
On appellera ***incertitude absolue*** une limite supérieure de la valeur absolue de cette erreur. C'est une quantité toujours positive qui a la même unité que G. La valeur exacte de G sera comprise entre les limites : $Gm+\Delta G$ et $Gm-\Delta G$.

On appelle incertitude relative la quantité $\frac{\Delta G}{G}$. C'est une quantité exclusivement positive et sans unité . Le résultat final sera écrit sous forme

$$G = (G_m \pm \Delta G)$$



I.3/ Cas particulier

a) Dans certains cas simples, l'incertitude absolue est réglée par la graduation de l'appareil. Si on désire mesurer une longueur L avec une règle graduée en mm, la position d'un trait par rapport à la graduation de la règle peut être au ½ mm près . D'où $\Delta L = 0{,}5$ mm .

b) S'il est positif de repérer un assez grand nombre de fois la mesure d'une même grandeur dans les mêmes conditions, on peut utiliser les méthodes statistiques.

Prenons par exemple : Cinq mesures successives d'une grandeur H ont donné :

1,30 - 1,34 - 1,36 - 1,35 - 1,30 la moyenne est : G_m=1,33 . Les écarts par rapport à la moyenne en valeur absolue sont : 0,03 – 0,01 – 0,03 – 0,02 – 0,03. Le plus grand écart est considéré comme l'incertitude absolue sur G. Le résultat final sera sous la forme :

$$G = G_m \pm \Delta G = (1{,}33 \pm 0{,}03)$$

N.B/ Si dans une série de mesures, une valeur s'écarte « ***trop*** » de la moyenne elle doit être refaite.

c) Cas des appareils électriques. Considérons un voltmètre de classe 2, par exemple, l'incertitude absolue ΔV est donnée par la formule

$$\Delta V = \frac{classe\ x\ calibre}{100}$$

1.4/ Remarques :

Remarque 1 : L'incertitude absolue doit toujours accompagner l'indication du résultat d'une mesure

Exemple : 1,312 ± 0,02 doit s'écrire 1,31 ± 0,02

Alors que 1,316 ± 0,02 doit s'écrire 1,32 ± 0,02

On dit dans ce cas qu'on « arrondit » le résultat

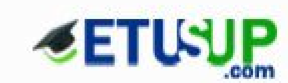
Remarque 2 : lorsque l'indication de l'incertitude absolue n'accompagne par explicitement le résultat, on admet implicitement que l'incertitude est de l'ordre correspondant au dernier chiffre indiqué.

Exemple : L =1,200 m veut dire que $\Delta L = 0{,}001$ m

L =1,20 m veut dire que $\Delta L = 0{,}01$ m

Remarque 3 : Lorsqu'une grandeur G est affectée de plusieurs incertitudes $(\Delta G)_1$, $(\Delta G)_2$ etc …La résultante ΔG est la somme : $\Delta G = \Delta G_1 + \Delta G_2 + \ldots$

Si un terme est relativement faible devant les autres, il peut être négligé.



I.5/ **Exemple** : Nous terminons ce chapitre par un exemple qui permet d'illustrer ce qu'on a déjà avancé.

On se propose de mesurer le temps t correspondant à 10 périodes T d'un pendule de torsion.

Le chronomètre utilisé nous donne $(\Delta t)_{lecture} = 0{,}01s$. On effectue plusieurs mesures qui donnent :

$t_1 = 42{,}6s$; $t_2 = 41{,}8s$; $t_3 = 43{,}4s$; $t_4 = 41{,}8s$; $t_5 = 43{,}0s$

Nous avons la moyenne $t_m = 42{,}52s$.

$$\Delta(t)_m = \sup |t_i - t_m| = 0{,}88s$$

L'incertitude totale : $\Delta t = (\Delta t)_{lecture} + (\Delta t)_m$

Dans ce cas, nous pouvons négliger $(\Delta t)_l$ devant $(\Delta t)_m$.

Finalement : $t = t_m \pm \Delta t = (42{,}52 \pm 0{,}88)s$ c'est à dire $t = (42{,}5 \pm 0{,}9)s$

Nous pouvons déduire la période T et l'erreur surT (ΔT) par les relations :

$$T = \frac{t}{10} \quad et \quad \Delta T = \frac{\Delta t}{10}. \qquad \text{D'où :} \qquad T = (4{,}25 \pm 0{,}09)s$$

II / Calcul d'incertitudes

En général, la mesure d'une grandeur G s'effectue par la mesure d'autres grandeurs physiques intermédiaires x, y, z, u, v indépendantes. La grandeur G est alors définie par G= (x, y, z, u, v).

Connaissant les incertitudes de mesures de x, y, z, u, v, on détermine l'incertitude absolue ΔG et relative $\frac{\Delta G}{G}$.

II.1/ Principe du calcul

II.1.1/ Cas simple d'une seule variable : $G = f(x)$

On détermine la valeur de G à partir de la mesure de la grandeur x.

Soit Δx l'incertitude absolue associée à x. On prend la différentielle de G soit

$$dG = f'(x_0)\, dx$$

$f'(x_0)$ est la dérivée de G par rapport à x au point x_0 (valeur mesurée de x). dG et dx sont des valeurs positives ou négatives alors que ΔG et Δx sont infinitésimales et on peut écrire :

$$\Delta G = |f'(x_0)|\, \Delta x$$

Exemple : Calculer l'incertitude ΔI sur le moment d'inertie I sachant que le rayon r est mesuré avec une incertitude Δr. La masse est supposée connue de manière exacte ($\Delta m = 0$). Différentier $I = mr^2$ ce qui donne $dI = m\,2r.dr$. L'incertitude sur I est : $\Delta I = 2m.r\,\Delta r$.

Application numérique : $m = 1Kg$ et $r = (1{,}00 \pm 0{,}01)m$

$$I = (1{,}00 \pm 0{,}02)Kg.m^2$$

II.1.2/ ***Cas où on a plusieurs variables***

Soit $G = f(x, y, z, \ldots)$ la grandeur dont on veut déterminer la valeur et son incertitude .

Soient x, y, z… les grandeurs mesurées.

Pour calculer l'incertitude ΔG on généralise la méthode utilisée dans le cas précédent :

$$dG = f'_x dx + f'_y dy + f'_z dz + \ldots$$

$f'_x = (\frac{\partial f}{\partial x})$ est la dérivée partielle de f par rapport à x, les autres variables étant supposées constantes de même pour : f'_y, $f'_z \cdots$

$$dG \leq |f'_x| dx + |f'_y| dy + |f'_z| dz + \ldots.$$

Pour avoir une estimation de l'incertitude absolue ΔG, nous pouvons considérer la quantité

$$\Delta G = |f'_x| \Delta x + |f'_y| \Delta y + |f'_z| \Delta z + \ldots$$

Cette étape s'appelle majoration physique

Exemple :

$$G = x_2 + 3y - z^3$$

$$dG = 2x\,dx + 3dy - 3z^2 dz$$

$$\Delta G = 2|x| \Delta x + 3\Delta y + 3z^2 \Delta z$$

II.2 / ***Différentes méthodes pour calculer les incertitudes.***

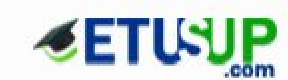
II.2.1/ ***Premier cas.***

La fonction dont on veut calculer l'incertitude est déterminée à partir des sommes et différences de produit ou quotients

Exemple : $G = xy + \frac{x}{u} + \frac{1}{z} + z^2$

1° étape du calcul : Différenciation de la fonction : $dG = f'_x dx + f'_y dy + f'_z dz + f'_u du$

2° étape du calcul : Regroupement des coefficients de : dx, dy, dz, du



$$dG = (y + \frac{1}{u})dx + xdy + (2z - \frac{1}{z^2})dz - \frac{x}{u^2}du$$

3° étape du calcul : Majoration physique $\Delta G = \left|y + \frac{1}{u}\right|\Delta x + |x|\Delta y + \left|2x - \frac{1}{z^2}\right|\Delta z + \left|-\frac{x}{u^2}\right|\Delta u$

II.2.2/ Deuxième cas : Produits et quotients de sommes et de différences.

Exemple : $G(x, y, u, v) = \dfrac{x - u}{y + v + x}$

1° étape : On prend cette fois le logarithme et on différencie log G.

$$LogG = Log(x - u) - Log(y + v + x)$$

$$dLogG = \frac{dG}{G} = \frac{d(x - u)}{x - u} - \frac{d(y + v + x)}{y + v + x}$$

$$\frac{dG}{G} = \frac{dx}{x - u} - \frac{du}{x - u} - \frac{dy}{y + v + x} - \frac{dv}{y + v + x} - \frac{dx}{y + v + x}$$

2° étape : On regroupe les coefficients de dx, dy, du et dv.

$$\frac{dG}{G} = (\frac{1}{x - u} - \frac{1}{y + v + x})dx - (\frac{1}{y + v + x}) - \frac{dv}{y + v + x} - \frac{du}{x - u}$$

3° étape : Majoration physique :

$$\frac{\Delta G}{G} = \left|\frac{1}{x - u} - \frac{1}{y + v + x}\right|\Delta x + \left|-\frac{1}{y + v + x}\right|\Delta y + \left|\frac{-1}{x - u}\right|\Delta u + \left|\frac{1}{y + v + x}\right|\Delta v$$

Remarque : On démontre que le regroupement des coefficients de dx, dy, dz avant de passer à la majoration physique, nous donne une meilleure estimation de l'incertitude.

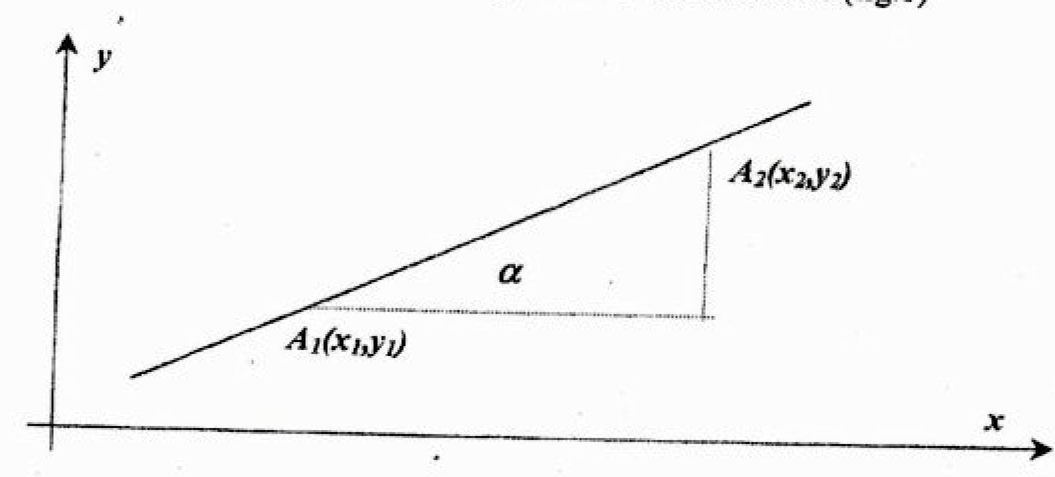
Il suffit de considérer l'exemple simple : $y = x^2 - x \quad \Rightarrow \quad dy = 2\,xdx - dx$

On vous laisse le soin de faire la vérification.

III./ Représentation Graphique . On traitera uniquement le cas des fonctions linéaires

III.1/ Rappel théorique

La représentation graphique de la fonction y = ax + b est une droite (fig.1)



Si nous considérons deux points $A_1(x_1,y_1)$ et $A_2(x_2,y_2)$, la quantité $P = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ s'appelle la pente de la droite.

On démontre que P = a . Quand le système x0y est orthonormé nous avons :

$P = a = \text{tg}\,\alpha$ c'est une grandeur sans unité.

Cependant dans la plupart des cas en physique, les grandeurs représentées sur Ox et Oy sont de natures différentes. La quantité $P = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ est une grandeur qui a une unité bien définie.

Elle n'a aucun rapport avec $\text{tg}\,\alpha$.

*III.2/ **Tracé des points et rectangles d'incertitude***

Considérons la relation V = f(I) = RI . Etant donné une série de mesures de V et I avec leurs incertitudes, il s'agit de déterminer graphiquement : $R \pm \Delta R$.

I(A)	**1,3**	**2,5**	**4,0**
Δ I(A)	**0,1**	**0,1**	**0,2**
V(volt)	**2,5**	**4,9**	**8,1**
Δ V(volt)	**0,2**	**0,2**	**0,3**

La figure 2 vous montre que chaque résultat expérimental est représenté par un rectangle d'incertitude dont la longueur des côtés est 2 Δ V et 2 Δ I, le centre du rectangle étant le point expérimental (I,V). Les deux droites passent par le centre O.

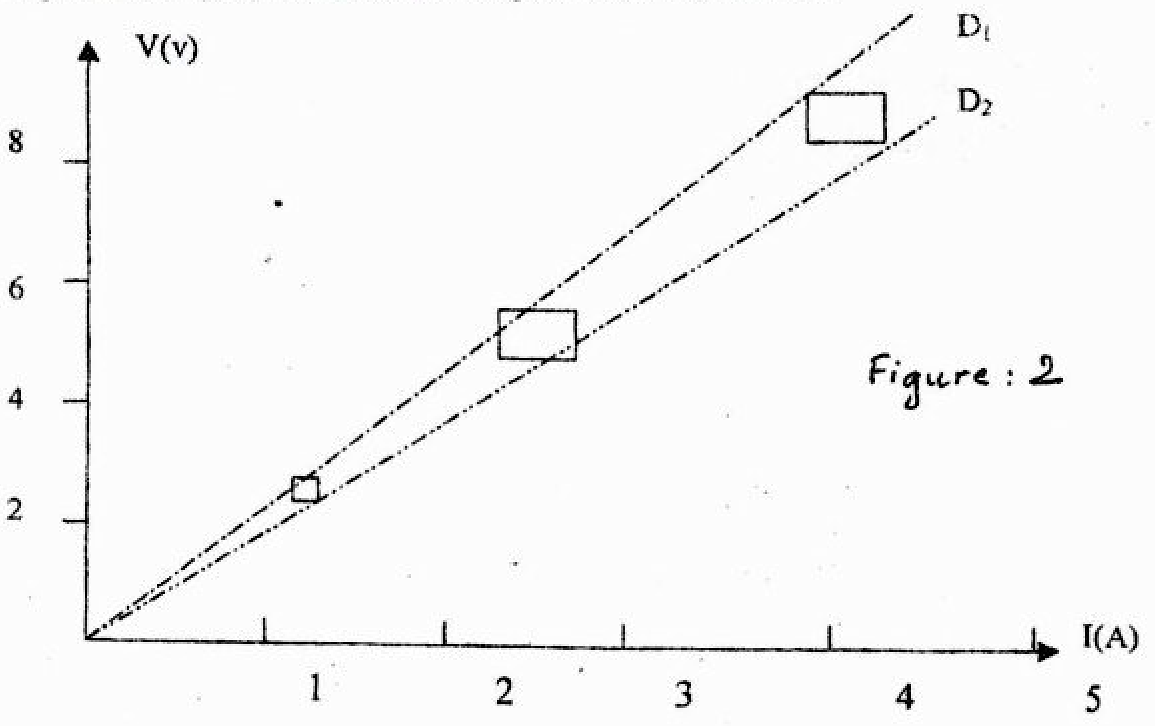


Figure : 2

III.3/ **Pentes limites**

Toutes les droites qui coupent tous les rectangles d'incertitude vérifient, aux incertitudes près, la relation V = RI, leurs pentes sont comprises entre les pentes limites P_1 de la droite D_1 et P_2 de la droite D_2. Nous considérons : $P_{moyenne} = \frac{P_1 + P_2}{2}$

$$\Delta P = \frac{|P_1 - P_2|}{2} \qquad P = P_{moy} \pm \Delta P$$

Dans le cas de la figure 2

$$P_1 = 2{,}54 \text{ V/A} \quad , \quad P_2 = 1{,}70 \text{ V/A}$$

D'où :

$$P = (2{,}1 \pm 0{,}4) \text{ V/A}$$

De la relation V = RI nous déduirons : P = R

D'où : $R = (2{,}1 \pm 0{,}4)\,\Omega$

III.4/ **Remarques**

Remarque 1 : Le tracé d'une courbe s'effectue sur du papier millimétré, sur celui-ci il faut porter les axes de référence en indiquant le nom de la grandeur physique représentée ainsi que l'échelle choisie.

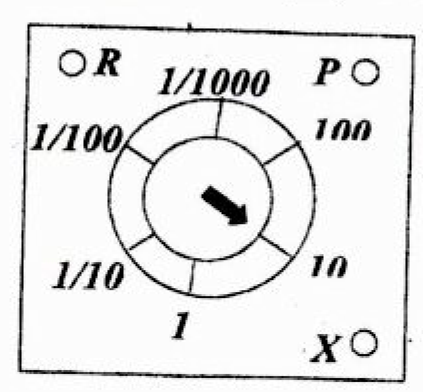
Il faut que le choix de l'échelle permette l'utilisation de la surface maximale de la feuille de papier millimétré.

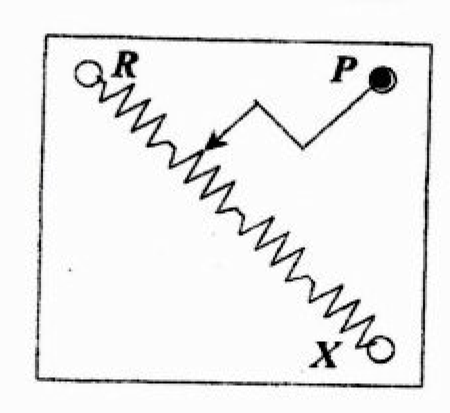
Remarque 2 : Ne pas confondre la tangente qui n'a pas d'unité et la pente qui a une unité.

Remarque 3 : Il est inutile de noter sur les axes des coordonnées les valeurs associées aux mesures ou de tracer des droites parallèles aux axes des coordonnées.

BOITES TÊTE DE PONT

Appelée aussi « bras de proportion », elle correspond aux schémas suivants :





Les bornes (R) et (X) sont les nœuds du pont où on branche le galvanomètre (G), la résistance R à la borne (R) et la résistance X à la bornes (x) (voir chap. Pont de Wheatstone).

Entre ces bornes la résistance est fixe : $R_{PX} = 1K\Omega$.

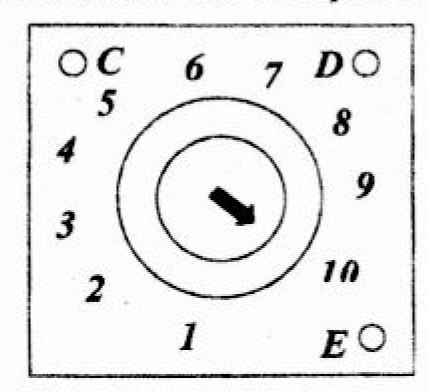
Le rapport indiqué en manipulant le bouton k est donné par :

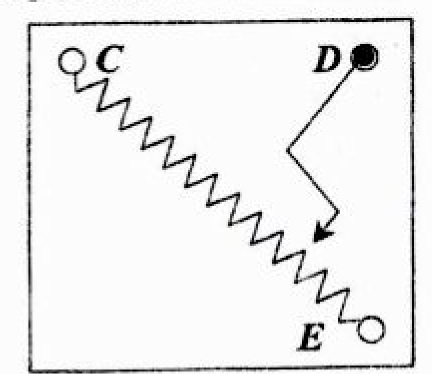
$$K = \frac{R_{PX}}{R_{PR}}$$

- Dans la position K = 1 ; $R_{PX} = R_{PR} = 500\,\Omega$
- K = 10 $R_{PX} = 1000\,\Omega$
  $R_{PR} = 100\,\Omega$
- K = 0,1 $R_{PX} = 100\,\Omega$
  $R_{PR} = 1000\,\Omega$

BOITES DE RESISTANCES A.O.I.P :

Les boites de résistances que l'on utilise correspondent aux schémas ci contre





Entre les bornes C et E est placée une résistance fixe dont la valeur est égale à 11 fois le coefficient gravé sur le bouton A(X 1 à X 10.000)

La borne d est reliée à un curseur solidaire de A.

La valeur de la résistance comprise entre les bornes C et D est obtenue en multipliant le coefficient gravé sur A, par le chiffre lu en face du repère B(de 0 à 11).

Ces boites peuvent être associées en série, la borne D de la première étant reliée à la borne C de la seconde, etc ...

La résistance totale du circuit compris entre la première borne C et la dernière borne D, est égale à la somme des résistances lues sur chaque boite (lecture en face du repère B multipliée par le coefficient gravé sur A).

Note : Seules les bornes C et D doivent être utilisées dans ce cas.



MESURE DES RESISTANCES

*I / **But***

Mesurer deux résistances R_1 et R_2 et vérifier les lois de leur association en série et en parallèle..On utilisera la loi d'Ohm : $V = RI$.

*II / **Ampèremètre et Voltmètre***

L'ampèremètre et le voltmètre sont des appareils qui permettent de mesurer respectivement un courant et une différence de potentiel. Le principe de ceux qui seront utilisés en manipulation est basé sur les effets magnétiques du courant. Ce sont des appareils à cadre mobile où le cadre entraîne le déplacement d'une aiguille dans un cadran gradué. (Cf. Photo).

Ce type d'appareil est utilisé en continu et son utilisation en alternatif nécessite l'association d'un redresseur soit incorporé, soit extérieur à l'appareil.
En général, les signes = et ~ indiquent si l'appareil est utilisable en continu ou en alternatif.

*II.1 / **Ampèremètre***

On peut considérer l'ampèremètre comme étant constitué d'un galvanomètre auquel sont associées des résistances en parallèle (Shunt) (cf. figure).C'est en jouant sur ces résistances qu'on fait varier les calibres de l'appareil.

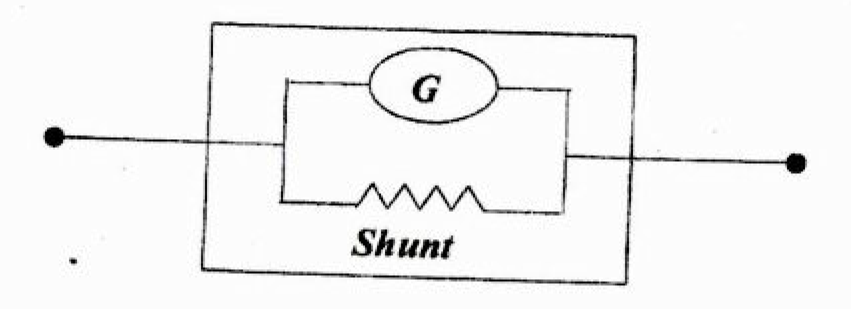


Figure -1-

On appelle résistance interne de l'ampèremètre, la résistance équivalente à l'ensemble du Shunt et de la résistance du galvanomètre. Pour l'ampèremètre, la résistance interne doit être la plus faible possible de sorte à ne provoquer qu'une faible chute de tension. Sa valeur est en général donnée sur l'appareil.

L'ampèremètre se branche toujours en série dans un circuit.

II.2 / Voltmètre

On peut schématiser un voltmètre, en considérant qu'il est constitué par un galvanomètre de résistance g en série avec une résistance r. C'est en utilisant différentes valeurs de la résistance r qu'on peut obtenir les différents calibres.

La résistance interne du voltmètre est la résistance équivalente à celle du galvanomètre en série avec r (voir fig. 2). Contrairement à l'ampèremètre, la résistance interne du voltmètre doit être choisie la plus grande possible. Elle est variable selon le calibre, mais le rapport de cette résistance interne au calibre est une constante. C'est la constante du voltmètre qui est indiquée en général sur l'appareil, elle est exprimée en Ω/V.

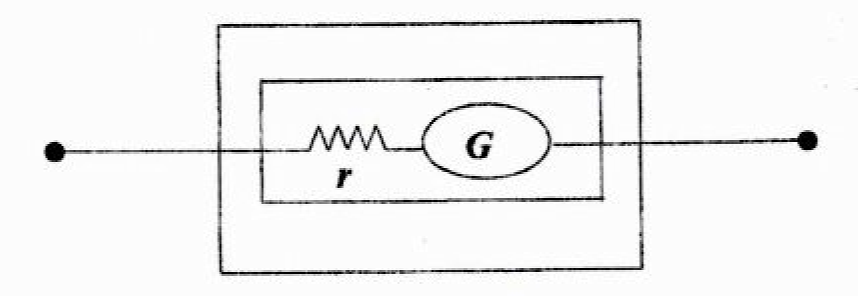


Figure -2-

Ainsi si $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ sont les calibres et ρ_1, ρ_2, ρ_3 les résistances internes du voltmètre associées à chaque calibre nous avons.

$$K = \frac{\rho_1}{\alpha_1} = \frac{\rho_2}{\alpha_2} = \frac{\rho_3}{\alpha_3}$$ K constante du voltmètre

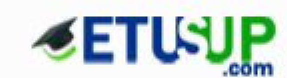
III / Calibres

Le calibre d'un appareil est exprimé par la grandeur mesurée à condition que cet appareil donne sa pleine déviation.

La valeur x indiquée par l'aiguille et lue sur l'échelle, que ce soit pour un voltmètre ou pour un ampèremètre, est à multiplier par un certain facteur afin d'obtenir la vraie valeur de la grandeur mesurée.

Exemple : Sur le dessin ci-dessous, le calibre choisis est 10V continu.

Ceci signifie que les 100 divisions de l'échelle supérieure ou les 30 divisions de l'échelle intermédiaire correspondent à 10V. L'aiguille est immobilisée sur la division 56 de l'échelle supérieure (voir fig. 3), par conséquent l'indication du voltmètre est : $\frac{10}{100} \times 56 = 5{,}6\,volts$



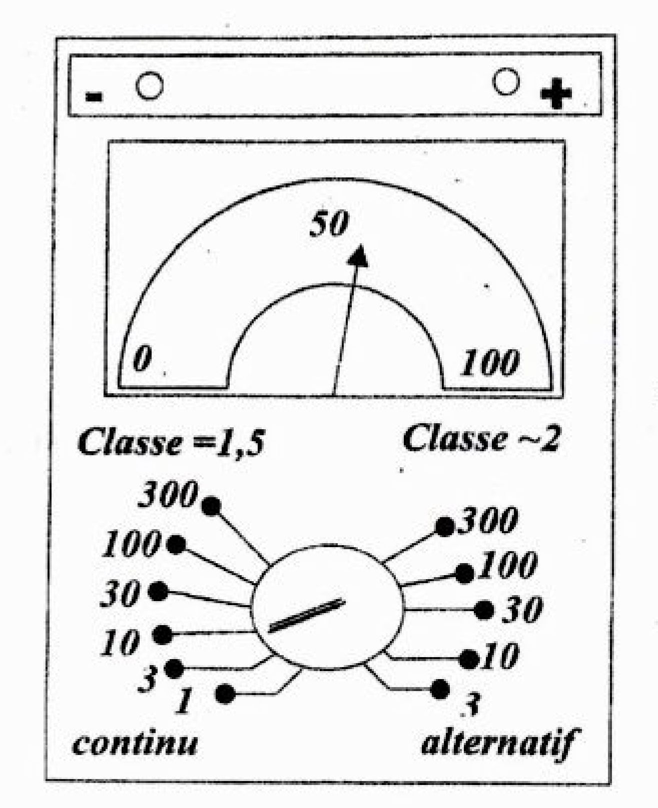


Figure -3-

Remarque 1 : Choix du calibre

Le choix du calibre dépend de la valeur de la grandeur à mesurer au début, on utilisera toujours le calibre le plus grand, puis on changera le calibre de sorte à obtenir une plus grande déviation de l'aiguille et ainsi une meilleure précision. (Voir remarque 2) (il est évident que l'on doit chercher la plus grande déviation de l'aiguille tout en restant à l'intérieur des limites du cadran).

Ainsi, si on effectue des lectures sur un milliampèremètre dont les calibres sont 1,3,10,30,100,300 en mA.

Un courant de 0,8 mA sera lu sur le calibre 1 mA

Un courant de 1,4 mA sera lu sur le calibre 3 mA

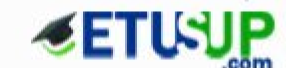
Un courant de 6,5 mA sera lu sur le calibre 10 mA

Un courant de 17 mA sera lu sur le calibre 30 mA

Un courant de 78 mA sera lu sur le calibre 100 mA

Un courant de 110 mA sera lu sur le calibre 300mA

On dit qu'un appareil est de classe x, si l'erreur absolue totale ne peut dépasser x % de ce que représente toute l'étendue de l'échelle considérée. Si on mesure en courant (mA) sur un appareil de classe 1,5 et si la lecture est faite sur le calibre 300 mA, c'est à dire que la valeur de fin d'échelle est 300mA, l'incertitude absolue instrumentale sera égale à : $\Delta I = \frac{1{,}5 \times 300}{100} = 4{,}5\ mA$



L'incertitude absolue instrumentale est constante pour un calibre donné, d'où l'intérêt de travailler avec le même calibre tout en restant dans les limites du cadran.

L'incertitude absolue expérimentale est due à la lecture. En général, cette erreur s'écrit :

$$\Delta I_{lect} = \frac{\frac{1}{2}\, ppd \times calibre}{nombre\ total\ divisions}$$

L'incertitude absolue globale est la somme des deux incertitudes : $\Delta I = \Delta I_{sys} + \Delta I_{lect}$.

Pour que l'erreur soit la plus petite possible, il faut choisir de travailler sur le calibre le plus petit possible.

IV. / ***MANIPULATION***

Il s'agit de déterminer les valeurs de deux résistances R_1 et R_2 , en suite de vérifier les formules concernant leur association en série et en parallèle.

Pour les différents montages, en plus des fils de connexion, on dispose de :

Un ampèremètre (A), un voltmètre (V), un rhéostat (Rh) et un générateur de courant continu (E).

IV.1/ ***Résistance*** R_1 .

Réaliser le montage de la figure 4. En agissant sur le rhéostat, compléter le tableau suivant :

R_2

V (volts)	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***
Calibres	///	3	3	3	10	10
ΔV (volts)	///	0,1				
I (mA)	///	0,004/3 =	0,008/3 =	0,12/30 = 0,004	≈ 0,006	≈ 0,007
Calibres	///	0,01 A	0,01 A	0,01 A	0,01 A	0,01 A
ΔI (mA)	///					

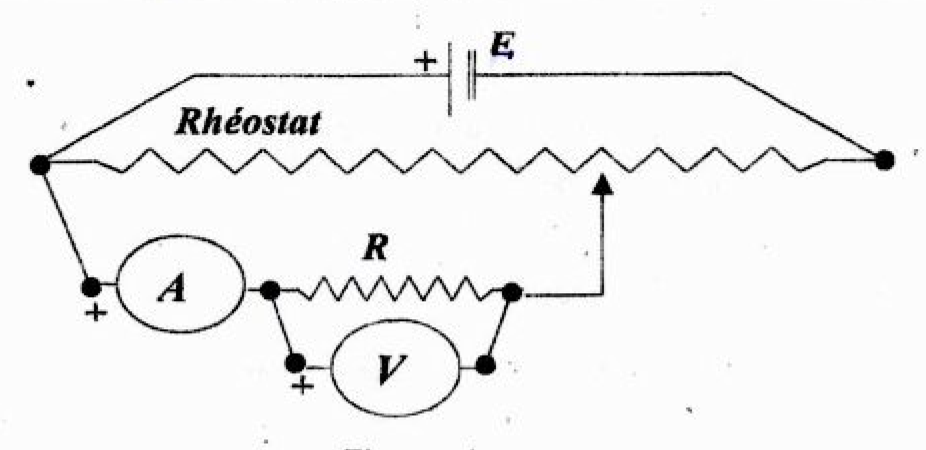


Figure -4-



Pour le choix des calibres et des incertitudes, se reporter aux remarques 1 et 2 de la partie *III* .

Représenter ***V=f(I)*** sur papier millimétré en ayant soins de reporter les rectangles d'incertitudes (Voir : Généralités).

Quelle est la nature du phénomène étudié ? Conclusions.

Tracer les droites limites pour en déduire les pentes limites P_1 et P_2 et par la suite $R_1 \pm \Delta R_1$.

IV.2 / <u>Résistance</u> R_2 :

Suivre exactement la même démarche avec la résistance R_2 pour déduire $R_2 \pm \Delta R_2$.

IV.3 / <u>Calcul théorique</u> :

On désigne par R_S la résistance équivalente de R_1 *et* R_2 en série et R_P en parallèle. D'après les mesures précédentes de ($R_1 \pm \Delta R_1$) et de ($R_2 \pm \Delta R_2$).

Faites un calcul théorique pour déduire les valeurs numériques de ($R_S \pm \Delta R_S$) et ($R_P \pm \Delta R_P$).

IV.4 / <u>Détermination expérimentale de Rs</u> : (*Effectuer une seule mesure*)

Réaliser le montage ci-contre (figure 5) , (R_1 et R_2 sont en série). D'après la mesure de I_S et V_S déterminer ($R_S \pm \Delta R_S$). Comparer le résultat avec la valeur calculée dans *IV.3* en tenant compte des incertitudes .

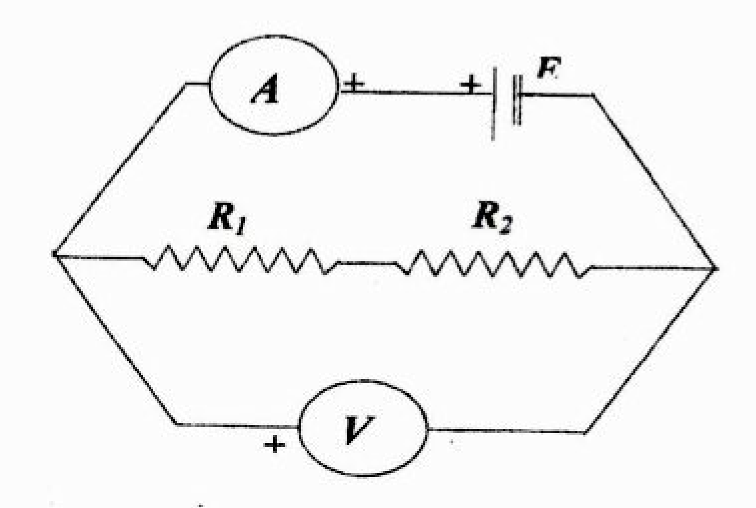


Figure -5-

$V_S = R_S I_S$

$R_S = \frac{V_S}{I_S} =$

$V_S = 13,5$

$I_S = 0,0132$



IV.5 / ***<u>Détermination expérimentale de R_p</u>: (Effectuer une seule mesure)***

Réaliser le montage de la figure 6 et suivre exactement la même démarche que *IV.4* pour la mesure de $R_P \pm \Delta R_P$.

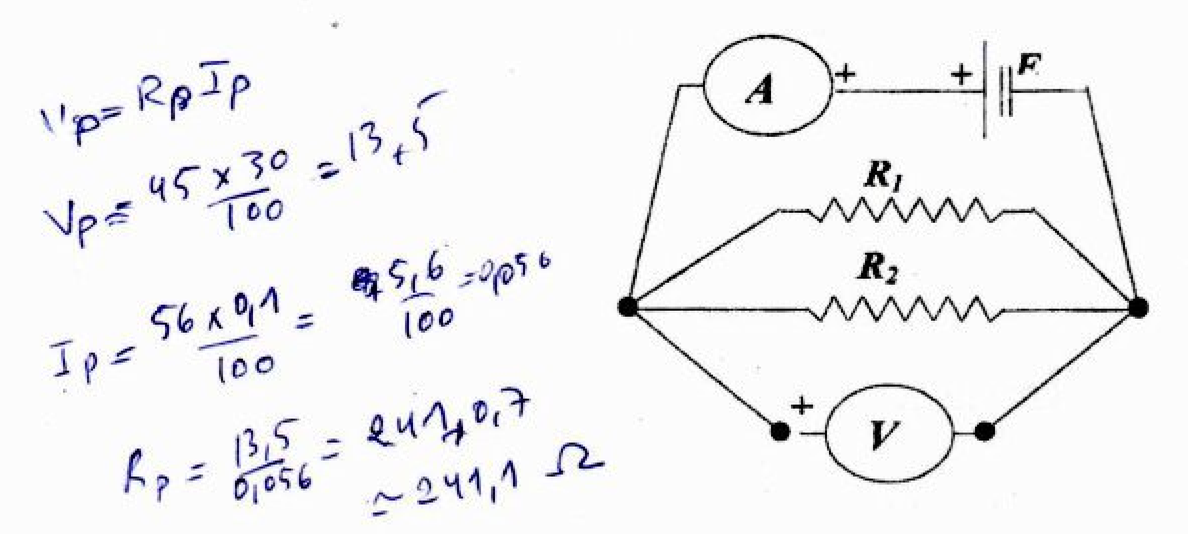


Figure -6-

Comparer les résultats expérimentaux avec les valeurs calculées théoriquement dans le paragraphe *IV.3.*

V / ***<u>Conclusions</u>***

OSCILLOSCOPE CATHODIQUE

I. / Introduction.

Un oscilloscope est un « *voltmètre amélioré* ».

Alors qu'un voltmètre indique *les valeurs quadratiques moyennes* (valeurs efficaces) de tensions électriques sinusoïdales ou continues, l'oscilloscope donne les valeurs instantanées de toutes les tensions quelles que soient leurs formes, en les visualisant sur un écran en fonction du temps. Dans ces conditions cet appareil permet, par exemple, de mesurer la fréquence de tensions périodiques et devient alors un fréquence-mètre.

La comparaison des valeurs instantanées de deux tensions périodiques de même fréquences permet entre autre de déterminer le déphasage entre ces tensions, l'oscilloscope est donc aussi un appareil de mesure de déphasages..

D'autres utilisations de l'oscilloscope peuvent être envisagées.

Dans cette manipulation , nous nous limiterons à ces trois utilisations qui sont les plus courantes.

II. / Description et principes.

L'élément essentiel de l'oscilloscope est le tube cathodique. Il est constitué d'un tube de verre dans lequel on a réalisé un vide aussi parfait que possible (fig. 1).

A l'extrémité effilée du tube se trouve un canon à électron comprenant :

- Une cathode qui, portée à incandescence, émet des électrons par effet thermoélectronique.
- Une grille appelée « cylindre de Wehnelt » portée à un potentiel légèrement inférieur à celui de la cathode. Elle permet le réglage du débit d'électrons, donc de la luminosité du spot.
- Une première anode A_1 de focalisation des électrons.
- Une deuxième anode A_2 accélératrice.

A la sortie du canon à électrons on obtient un étroit faisceau parallèle d'électrons monocinétiques.

Ce faisceau passe alors dans les champs électriques de quatre condensateurs, dont les armatures sont constituées de deux paires de plaques parallèles, respectivement horizontales pour la déviation verticale et verticales pour la déviation horizontale de ce même faisceau.



Après déviation, les électrons viennent frapper l'avant du tube formant l'écran. Celui-ci est constitué d'un dépôt de sels métalliques qui devient fluorescent sous l'impact des électrons qui sont ensuite récupérés sur l'anode A_3 .

III . / ***Fonctionnement des plaques déviatrices .***

En l'absence de champ électrique (condensateur non chargé). Les électrons frappent l'écran en son centre O.

Si on établit une différence de potentiel V constante entre les plaques, on crée un champ électrique uniforme dans l'espace entre les armatures soumis à ce champ électrique, les électrons décrivent un arc de parabole à l'intérieur du condensateur et viennent frapper l'écran en M (fig. 2).

On montre (Cf. cours) que la distance $d=OM$ est directement proportionnelle à V , la constante de proportionnalité ne dépendant que des caractéristiques géométriques du tube, et la vitesse des électrons à l'entrée du condensateur.

$D=kV$, k : constante de proportionnalité.

Les deux paires de plaques étant perpendiculaires, les déviations provoquées par chacune d'elles s'effectuent dans deux directions perpendiculaires définissant ainsi un repère orthogonal (X,Y) de centre O .

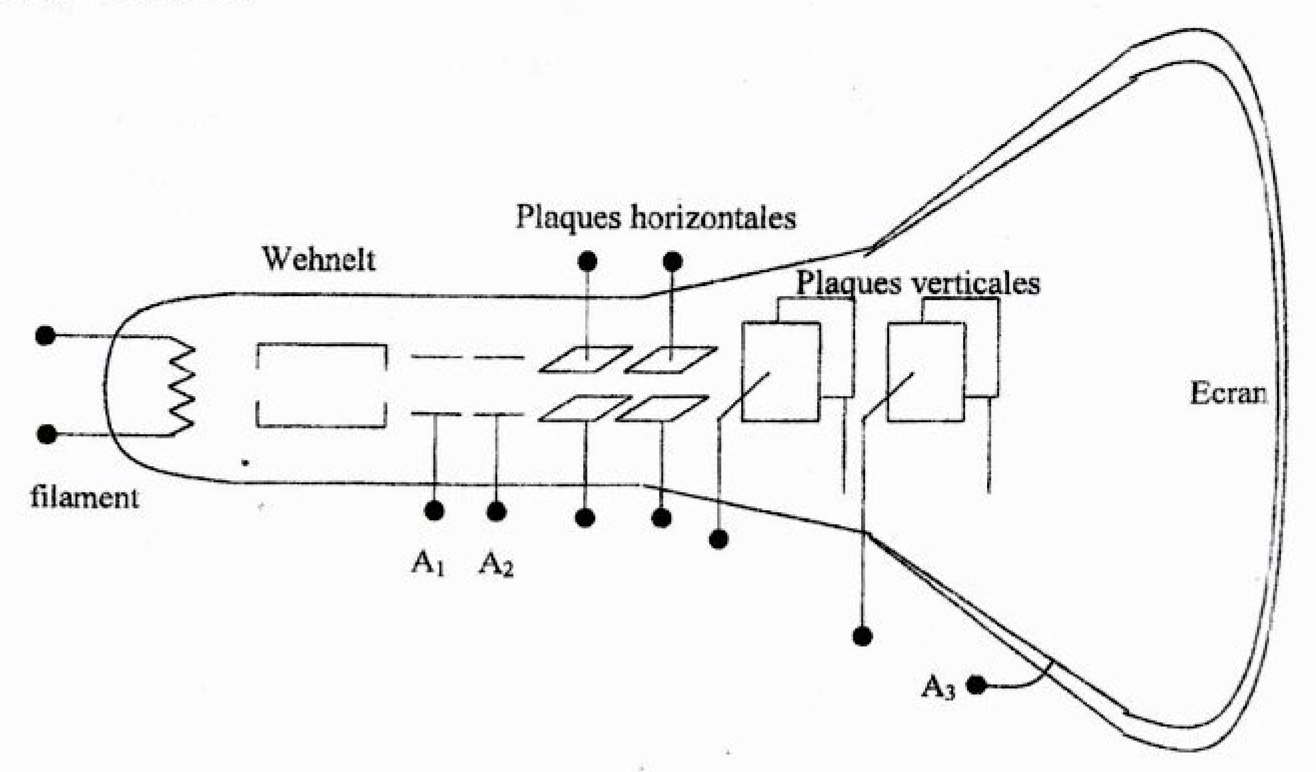


Figure -1-

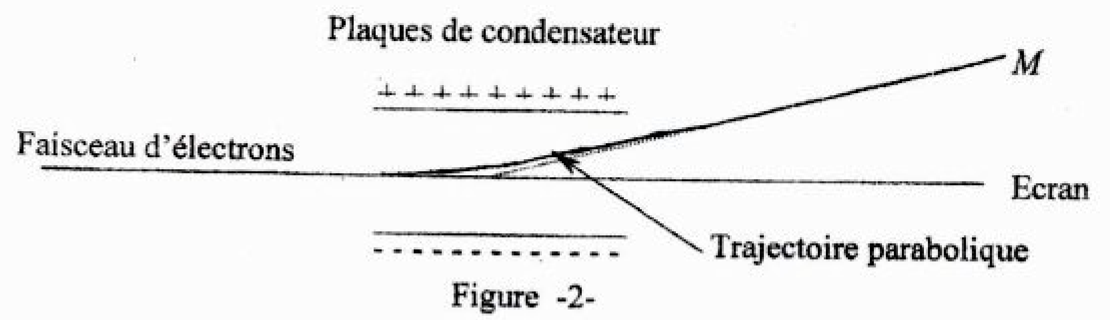


Figure -2-

Les coordonnées (X,Y) du spot sur l'écran sont donc déterminées par deux tensions Indépendantes V_x et V_y commandant respectivement les déplacements du spot dans les directions X et Y (fig. 3).

Le constructeur de l'appareil a sélectionné quelques valeurs des coefficients *K* et *K'* parmi lesquelles l'utilisateur peut effectuer un choix en manipulant les commutateurs de sensibilité.

Remarquons que ces opérations sont en tout analogues au choix d'un calibre pour un voltmètre.

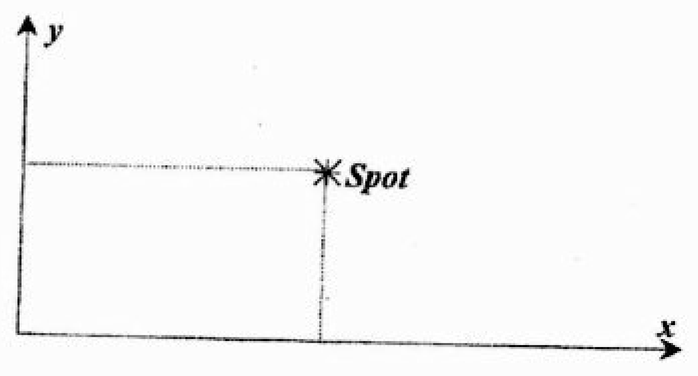


Figure -3-

IV. / Quelques utilisations de l'oscilloscope.

IV. / Utilisation d'une seule paire de plaques.

Supposons qu'une tension continue V_y soit appliquées en déviation Y, V_x restant égale à zéro les coordonnées du spot sur l'écran seront :

X=0 et y= K'V_y indépendantes du temps .

Connaissant K' (donné par le constructeur de l'appareil), il suffit de mesurer Y pour déduire V_Y.

L'oscilloscope joue alors strictement le rôle d'un voltmètre

Supposons maintenant que V_Y soit une tension périodique , V_X restant égale à zéro. Le spot va se déplacer sur l'axe Y.



Aux basses fréquences ($f \leq 5Hz$), l'œil peut discerner ces déplacements, mais aux fréquences plus élevées, le phénomène de résistance des impressions rétiniennes nous fait voir un trait lumineux continu qui est l'axe Y.

Cette utilisation est donnée à titre d'exemple et n'offre en soit aucun grand intérêt elle est toute fois très fréquemment utilisée pour le repérage des axes (X,Y).

IV. 2 / ***Utilisation des deux paires de plaques*** .

On compare alors les deux tensions V_X et V_Y.

IV.2. 1 / ***Etude d'un signal périodique*** .

Pour obtenir le tracé de la courbe $V_Y=f(t)$ soit $y=K'f(t)$, il faut que l'abscisse x du spot varie proportionnellement au temps t. Il suffit de faire varier $V_X = \frac{X}{K}$ proportionnellement à t.

Si on applique en déviation horizontale une tension VX=at, a étant une constante, le spot sortira rapidement et définitivement de l'écran. On adjoint alors à l'oscilloscope un dispositif électronique appelé « base de temps » qui permet d'appliquer en déviation X une tension en « dents de scie » (fig. 4).

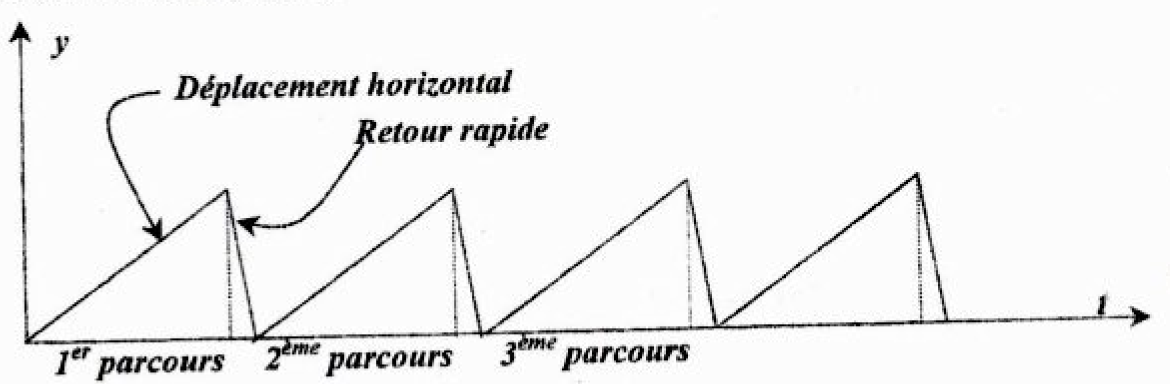


Figure -4-

Après un premier parcours à vitesse constante (v) du bord gauche au bord droit de l'écran, le spot revient (presque) instantanément à sa position de départ et effectue un second parcours à la même vitesse.. etc

Cette vitesse v est appelée « vitesse de balayage ».

Un oscilloscope (modèle courants) comprend une gamme de vitesses de balayage allant de 10^{-1} à $10^{7} cms^{-1}$. Le choix de cette vitesse est laissé à l'utilisateur en manipulant le commutateur de base de temps. Elle sera, bien entendu, fonction de la rapidité des signaux à observer . Ce dispositif de base de temps n'est toutefois pas suffisant pour l'observation des tensions périodiques rapidement variables.



En effet, pour effectuer des mesures, il faut que la trace soit stable, c'est à dire que les courbes successives décrites par le spot sur l'écran lors du 1er, 2ème ,...., $n^{ième}$ parcours se superposent exactement. Cette condition est satisfaite si le balayage se déclenche toujours quand le signal passe par un instant bien déterminé de sa période .

Cette nouvelle fonction est assurée par un dispositif de synchronisation, que l'utilisateur est amené à régler chaque fois qu'il souhaite observer une tension périodique en fonction du temps.

Manipulation.

a) *Identification des éléments de commande de l'appareil*

Il s'agit de repérer le rôle des éléments de commande les plus importants de l'oscilloscope.

b) *Observation au ralenti d'une tension sinusoïdale de faible fréquence*

Vous disposez d'un générateur de signaux sinusoïdaux de basse fréquence (***GBF***).

Reliez successivement la masse du générateur à la masse de l'oscilloscope puis la sortie du générateur à l'entrée Y de l'oscilloscope. (Cette opération s'appelle habituellement : branchement du *GBF* à l'entrée Y de l'oscilloscope).

Mettre le *GBF* sous tension, le régler à sa fréquence minimum, observer le mouvement du spot sur l'écran en choisissant une vitesse de balayage adéquate.

c) *Observation d'une tension sinusoïdale*

Régler la fréquence du *GBF* à 200 Hz et l'amplitude au maximum observer et représenter sur papier millimétré le tracé obtenu. Graduer les axes, mesurer la période *T*, l'amplitude V_o et la tension crête à crête V_{cc}.

Evaluer les erreurs de lectures et donner les incertitudes pour ces grandeurs.

Donner l'expression mathématique décrivant cette tension en fonction du temps.

Comme il est rappelé dans l'introduction, un voltmètre mesure des tensions efficaces.

Mesurer au voltmètre la tension efficace $V_{eff} \pm \Delta V_{eff}$ à la sortie du *GBF*.

Pour une tension sinusoïdale et exclusivement dans ce cas, la tension efficace (V_{eff}) est liée à l'amplitude (V_o) par la relation $V_{eff} = V_0 / \sqrt{2}$. Comparer les mesures de V_{eff} faites au voltmètre et celles faites à l'oscilloscope..

d) *Observation d'un signal rectangulaire*

Presser le bouton sélecteur de mode du *GBF*.

- Observer et représenter sur papier millimétré le tracé obtenu.
- Graduer les axes, mesurer la période, l'amplitude, la tension crête à crête



3,2x0,5 3,5x0,5 = 1,75

0,0,0,1,75

- Donner les incertitudes sur ces mesures.

e) Contrôle de l'étalonnage en fréquence du GBF

Faire varier la fréquence (*f*) et mesurer les périodes correspondantes (T) à l'oscilloscope.

Evaluer ΔT . Donner l'expression de $\Delta\left(\frac{1}{T}\right)$ en fonction de ΔT. Donner à f les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, où vous regroupez les résultats.

f(Hz)	*200*	*300*	*400*	*600*	*700*	*800*	*1000*	*1500*
T(s)	0,002	0,007	3,2x0,5 ms	2,4x0,5 ms	2,2x0,5 ms	2x0,5 ms	1,8x0,5 ms	1,2x0,5 ms
$\Delta T(s)$								
$1/T(s^{-1})$								
$\Delta(1/T)$								

Tracer la courbe $f = g\left(\frac{1}{T}\right)$ sur papier millimétré. 

Le *GBF* est-il bien étalonnée ? Pourquoi ?

IV.2.2/ Etude de deux tensions sinusoïdales de même fréquence. Mesure de déphasage

Supposons que $V_x = V_{xo} \sin \omega t$ et que

$$V_T = V_{T0} \sin(\omega t + \varphi)$$ déphasée de l'angle φ par rapport à V_x.

On envisage deux méthodes pour calculer le déphasage :

IV.2.2 a) Mesure direct.

On mesure directement le déphasage φ en visualisant sur l'écran de l'oscilloscope les deux signaux. On mesure d'abord le retard du temps Δt entre eux (fig. 5), puis à partir de la correspondance suivante : $\{ T \to 2\pi$ et $\Delta t \to \varphi \}$, on déduit la valeur du déphasage

$\varphi = \frac{\Delta t \times 2\pi}{T}$.



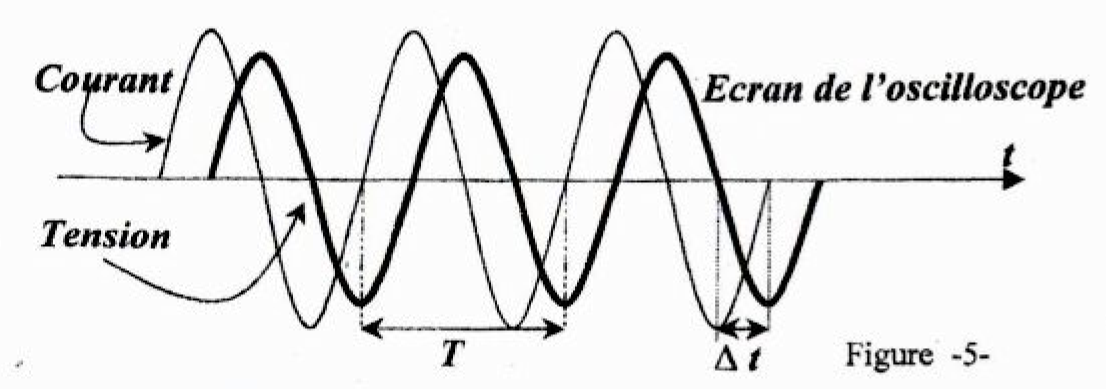


Figure -5-

IV.2.2 b) ***Mesure à partir d'une ellipse***.

Dans ces conditions, les coordonnées du spot sur l'écran deviennent

$$X = K\,V_X = K\,V_{XO} \sin \omega\, t$$

$$V = K'V_Y = K'V_{YO} \sin (\omega\, t + \varphi)$$

Le spot décrit alors une courbe dont les deux relations précédentes donnent une représentation paramétrique. L'équation cartésienne de cette courbe visualisée sur l'écran dans le repère (X,Y) s'obtient en éliminant le temps t entre ces deux relations (fig. 6).

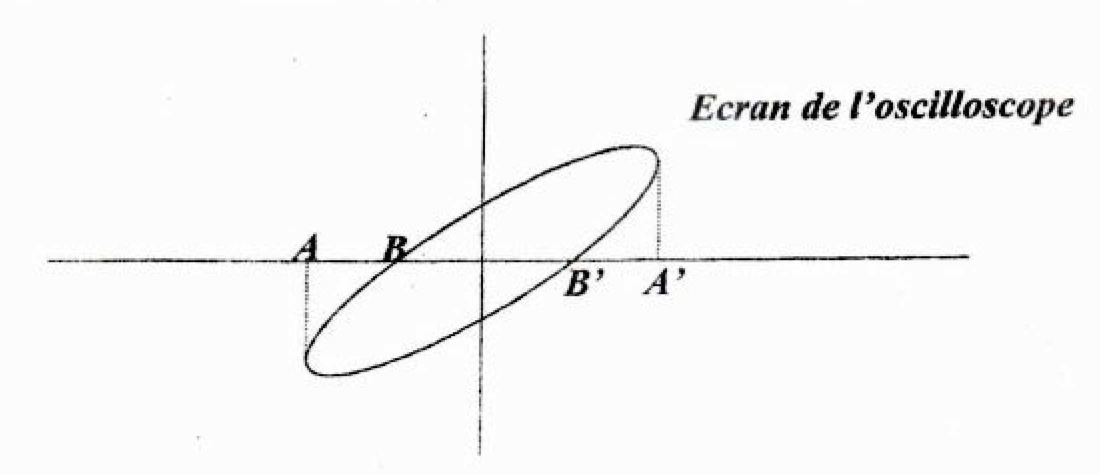


Figure -6-

En posant $a = KV_{OX}$, et $b = K'V_{YO}$, on trouve

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$$

C'est l'équation d'une ellipse dont l'orientation des axes est fonction de φ.

Cherchons les abscisses X_B et $X_{B'}$ de ses points d'intersection avec l'axe X. Il suffit de poser y = 0 dans l'équation cartésienne et on trouve :

$$X_B = -a|\sin\varphi| \text{ et } X_{B'} = +a|\sin\varphi|$$

Donc $$BB' = 2a\,|\sin\varphi|$$

D'autre part $X_A = -a$ et $X_{A'} = +a$ puisque x(t) oscille entre ces deux valeurs extrêmes . La distance AA' = 2a.

D'où finalement $|\sin\varphi| = \frac{BB'}{AA'}$ est donc connu au signe près.

V / Manipulation

Soit le circuit schématisé ci-dessous. Nous proposons de mesurer le déphasage entre les tenions V_{BM} et V_{AM} (fig. 7).

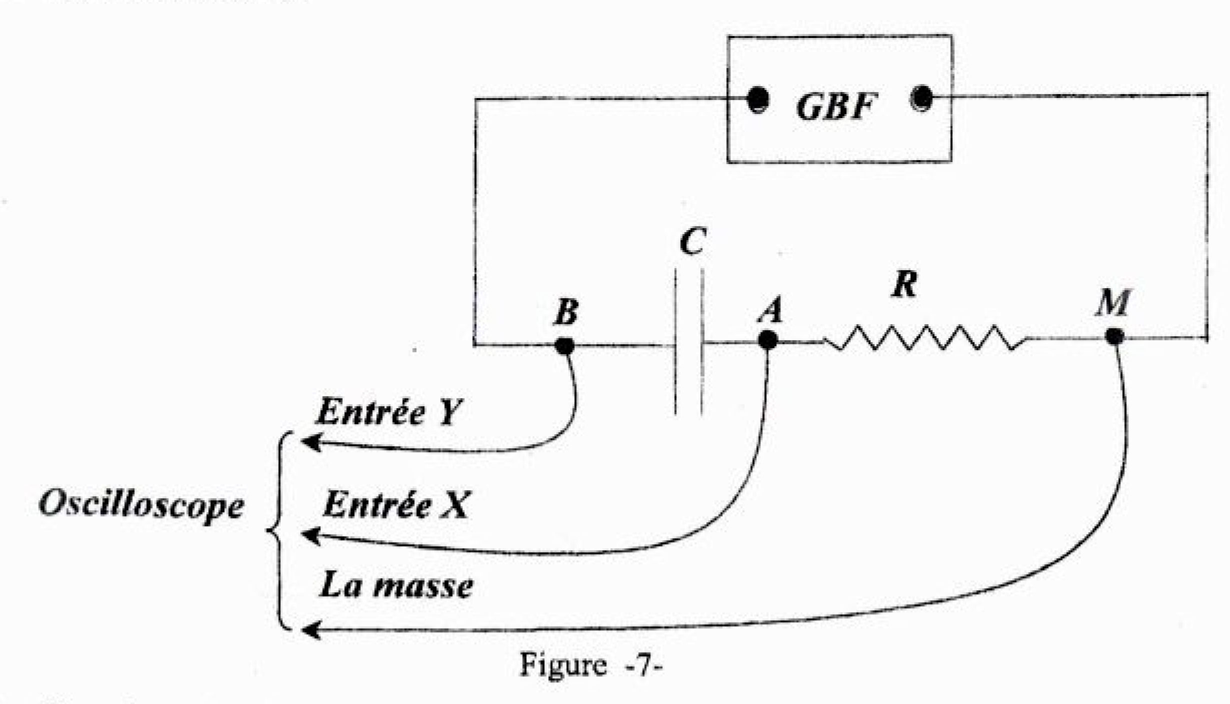


Figure -7-

Signification physique du déphasage

Soit i, l'intensité du courant dans le circuit : $i = I_0 \cos\omega t$

D'après la loi d'Ohm, la tension aux bornes de R est

$$V_{AM} = R \times i = RI_0 \cos\omega t$$

On sait d'autre part (Cf, cours de Terminale) que la tension aux bornes d'un condensateur est déphasée de $-\pi/2$ par rapport à l'intensité du courant qui le traverse et que le module de l'impédance d'une capacité C est $Z = 1/C\omega$.

$$V_{BA} = Z\,I_0 \cos(\omega t - \pi/2$$

Il est commode de représenter ces tensions par un diagramme de Fresnel.

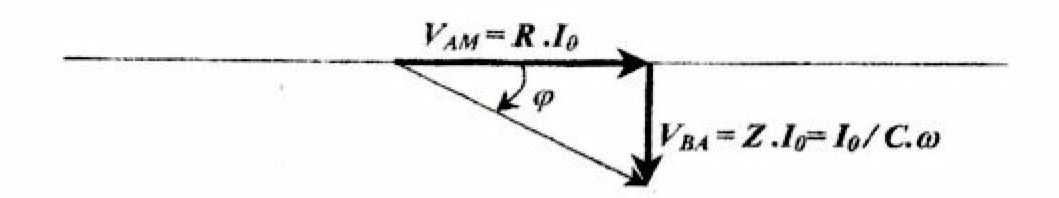


Diagramme de Fresnel

On en déduit $$\text{tg}\,\varphi = \frac{V_{BA}}{V_{AM}} = \frac{ZI_0}{RI_0} = \frac{1}{RC\omega}$$

Relier le point M du circuit à la masse de l'oscilloscope le point A à l'entrée X, le point B à l'entrée Y.

<u>L'axe x n'est plus l'axe des temps, placer le commutateur de temps sur la position « EXT.X » ou « X-Y ».</u>

Observer et représenter l'ellipse sur papier millimétré.

Déduire le déphasage $\varphi \pm \Delta\varphi$ à partir des mesures $BB' \pm \Delta BB'$ et $AA' \pm \Delta AA'$, sachant que :

$$\sin\varphi = \frac{BB'}{AA'}$$

Exprimer $\Delta\varphi$ en fonction de $\Delta(\sin\varphi)$ et calculer C connaissant R, ω et $\text{tg}\,\varphi$, déterminer

$$C \pm \Delta C$$

Conclusion.

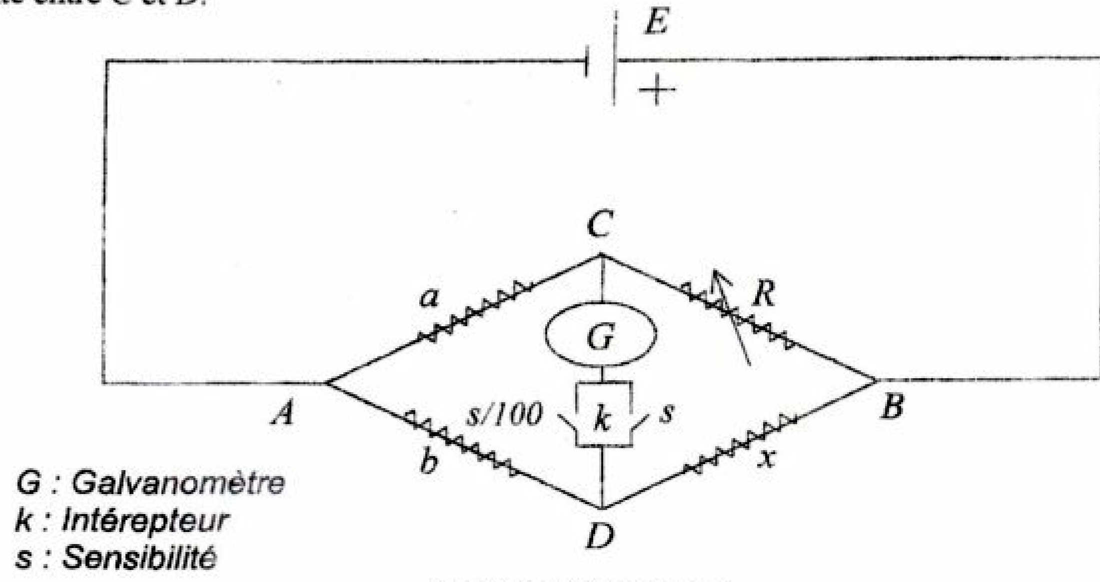
PONT DE WHEATSTONE

I°/ BUT :

La méthode du pont de Wheatstone permet de mesurer les résistances avec une bonne précision. Le but de cette manipulation est d'étudier ce montage et de l'appliquer pour déterminer deux résistances inconnues X_1 et X_2.

II°/ Principe : (Voir schéma ci dessous)

La résistance X à mesurer représente l'un des côtés d'un quadrilatère dont les 3 autres formés par des résistances connues a, b et R. Une source de courant continu E est montée entre A et B, un galvanomètre G avec deux boutons poussoirs de sensibilité S et S/100 est monté entre C et D.



Pont de Wheatstone

La mesure consiste à équilibrer le pont c'est à dire à choisir les résistances a, b et R de façon à ce que l'aiguille de G au zéro quand on forme k, on démontre alors la relation : $aX = bR$.

Dans chaque manipulation, on fixe le rapport b/a et on cherche la résistance R_0 qui réalise l'équilibre.

On calcule alors X en appliquant la formule :

$$X = \frac{b}{a} R_0$$

III°/ Matériel :

- R est constituée par une boite de résistance à plusieurs décades X1, X10, X 100 etc…montées en série. Sa valeur peut varier par sauts de 1.
- Une boite tête de pont (voir début du manuel)
- G est un galvanomètre à aiguille avec deux boutons poussoirs de sensibilités S et S/100.
- Pour éviter de détériorer le galvanomètre on **commencera toujours par appuyer sur le bouton le moins sensible c'est à dire S/100**. Ce n'est que lorsque l'aiguille du galvanomètre bouge à peine qu'on utilise le bouton S, 100 fois plus sensible que le précédent, pour rechercher de nouveau l'équilibre.
- Une source de courant continu (Pile) de quelques volts représente E.
- Deux résistances X_1 et X_2 à déterminer.
- Une boite de résistance variable (X 100) nous donnera des valeurs étalonnées de X.

IV°/ Incertitudes :

De la formule $X = \frac{b}{a} R_0$ nous pourrons déduire :

$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R_0}{R_0}$ (Incertitude relative sur X).

Chacun des 3 termes du second membre est formé par la somme de deux sortes d'incertitudes relatives.

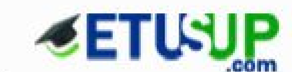
1) **L'incertitude relative d'étalonnage** :

Elle est fixée par le constructeur des boites de résistances et on peut la lire directement sur ces boites. Elle est donnée en %.

Exemple :

$(\frac{\Delta a}{a})_a = 2\%$ et pour a=500Ω$(\Delta a)_a$=10Ω . (incertitude absolue d'étalonnage).

2) L'incertitude relative expérimentale :



Durant chaque manipulation (recherche de l'équilibre) a et b sont fixée et on varie R.

Donc, l'erreur expérimentale porte uniquement sur R_0.

Dans IV nous avons montré comment estimer l'incertitude correspondante.

$$\frac{\Delta X}{X} = \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_a + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_{exp}$$

L'incertitude relative d'étalonnage est constante durant toute la manipulation.

La meilleure précision pour mesurer une résistance X est obtenue en réduisant $\left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_{exp}$ au minimum .

V°/ <u>Mode opératoire</u> :

Avant de brancher la source de tension, fixe le rapport $\frac{b}{a}$. Faire contrôler ce montage par l'assistant avant de brancher la source. Un test simple permet de vérifier son exactitude.

- Prendre R=∞ (en ouvrant le circuit BC). En appuyant sur S/100 l'aiguille de G doit dévier vers la partie +du cadran .
- Prendre R=0 dans ce cas l'aiguille doit aller vers la partie- du cadran.

La résistance R_0 qui correspond à l'équilibre se trouve évidemment entre ces 2 valeurs (O et ∞).

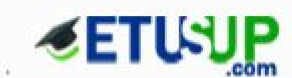
La recherche de R_0, s'effectue comme suit : après avoir choisi et fixer $\frac{b}{a}$, prendre R maximum (toutes les décades à 10).

L'aiguille de G doit aller vers le + Ensuite diminuer R progressivement en commençant par la gamme la plus haute jusqu'à obtenir R_0.

En manipulant les décades des résistances il faut éviter de passer de 10 à 0 pour éviter des variations du courant importantes ces qui peut nuire au bon fonctionnement du galvanomètre.

<u>N.B :</u> Chaque fois que le courant est indécelable dans G, appuyer sur le bouton S tout en manipulant avec précaution.

<u>Ne jamais laisser le doigt appuyé sur le bouton du galvanomètre</u>



Le fait d'utiliser S pour un courant important risque de détériorer l'appareil.

En réalité, on n'arrive jamais à déterminer R_0 rigoureusement pour 2 raisons :

- la discontinuité des valeurs de R qui varie par saut de 1.
- La sensibilité est tellement faible, qu'on n'arrive pas à le détecter même en appuyant sur S.

En pratique, ce qu'on arrive à déterminer, ce sont 2 limites supérieures et inférieures (R sup. et inf) pour lesquelles on décède une déviation visible de l'aiguille de G respecti ment vers le + et le – du cadran. Nous prendrons :

$$R_0 = \frac{R_{sup} + R_{inf}}{2} \quad \text{(valeur moyenne de } R_0\text{)}$$

$$(\Delta R_0)_{exp} = \frac{R_{sup} - R_{inf}}{2} \quad \text{(incertitude relative expérimentale sur } R_0\text{)}$$

VI°/ Manipulation :

VI.1/ Vérification expérimentale de la relation X=b/a R_0 :

Réaliser le montage en prenant pour X la boite de résistance variable (X 1, X 10…X 100.000).

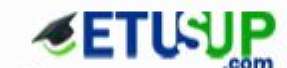
Fixer b/a = 1 et X =100.

Vérifier le montage en appliquant le test décrit dans V.

Rechercher ensuite l'équilibre pour déterminer R_0 et $(\Delta R_a)_{exp}(\ V)$. En faisant varier X, remplir le tableau suivant :

X(Ω)	Δx(Ω)	R_0 (Ω)	$(\Delta R_0)_{exp}$	$(\Delta R_0)_{et}$	ΔR_0
100					
200					
300					
400					

N.B : $\Delta X = (\Delta X)_{ét}$ *et* $\Delta R_0 = (\Delta R_0)_{exp} + (\Delta R_0)_{ét}$



Représenter graphiquement $R_0=f(x)$ en prenant la même échelle sur les 2 axes . Quelle est la nature de la courbe ?

La formule $X = \frac{b}{a} R$ est-elle vérifiée pour b/a=1 ?

VI.2. Recherche de la meilleure précision de mesure :

Elle correspond à la valeur minimale de $(\Delta R_0 / R_0)_{exp}$ (V). Prendre pour X la résistance inconnue X_1 et remplir le tableau suivant :

b/a	$R_0(\Omega)$	$(\Delta R_0)_{exp}(\Omega)$	$(\Delta R_0/R_0)_{exp}(\%)$	$(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R_0}{R_0})_{ét}(\%)$
100				
10				
1				
1/10				
1/100				

Comment varie $(\Delta R_0 / R_0)_{exp}$ en fonction de b/a et par rapport à l'incertitude relative d'étalonnage ? Quelle valeur de b/a donne la meilleure précision de mesure sur X_1 ?

Dans ce cas déterminer $\frac{\Delta X_1}{X_1}$ ainsi que $(X_1 \pm \Delta X_1)$.

Remplacer X_1 par X_2 avec le rapport b/a qui donne la meilleure précision chercher l'équilibre pour déterminer $(X_2 \pm \Delta X_2)$.

VI.3- Comparaison des résultats avec ceux donnés par le constructeur.

a) Avec le code des couleurs . Déterminer $(X_1 \pm \Delta X_1)$. et $(X_2 \pm \Delta X_2)$ données par le constructeur. Ce code est sur la table de (T.P).

b) Comparer ces résultats à ceux trouvés par la méthode du pont de Wheatstone. Conclusion ?



MICROSCOPE

I / But.

Cette manipulation étudie le fonctionnement de cet appareil e permet de déterminer ses caractéristiques optiques.

II / Principe

II.1 / Description

Le microscope se compose essentiellement de deux systèmes optiques convergents de même axe optique.

a) **L'objectif** : C'est un système centré constitué par plusieurs lentilles. L'ensemble est très convergent (distance focale de quelques millimètres).

L'objectif donc d'un objet très petit AB situé dans un plan légèrement en avant du plan focal objet, une image réelle A_1B_1 renversée, très agrandie.

b) **L'oculaire** : Il est constitué de deux lentilles.

La première est dite « lentille de champ », la deuxième « lentille de l'œil ». La distance focale de l'ensemble est de quelques centimètres.

L'oculaire sert de loupe pour l'observation de l'image réelle A_1B_1 donnée par l'objectif. Il en donne une image virtuelle A_2B_2 . En définitive, le microscope donne d'un objet réel AB une image virtuelle et renversée A_2B_2.

II.2 / Construction de l'image

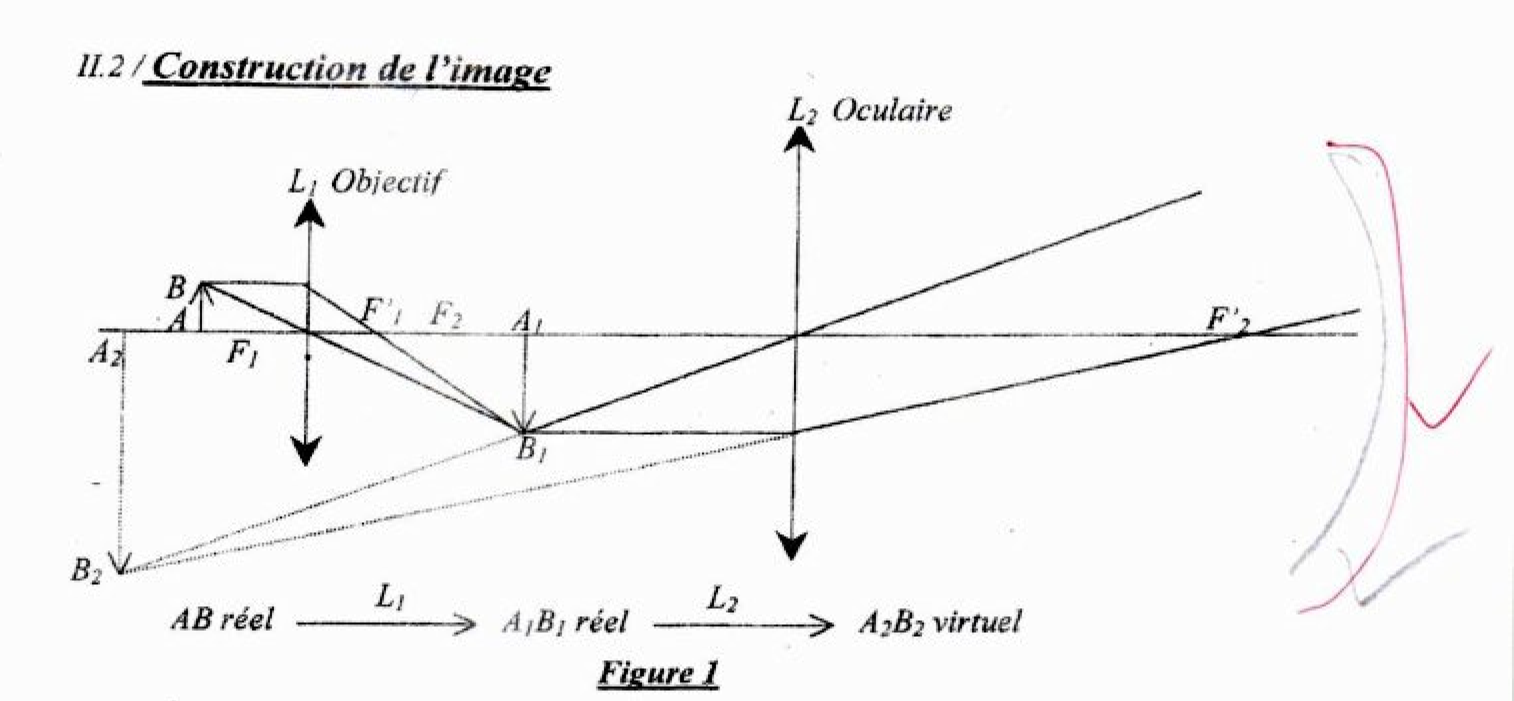
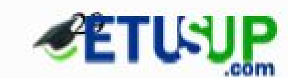


Figure 1



En première approximation, on assimile l'objectif à l'oculaire à deux lentilles minces, convergentes L_1L_2.

L'objet AB est placé un peu au delà du foyer F_1 de l'objectif L_1 qui en donne une image réelle inversée A_1B_1.

L'oculaire L_2 est placé de telle sorte que A_1B_1 se trouve entre L_2 et son foyer objet, ainsi L_2 donne de A_1B_1 une image virtuelle et de même sens A_2B_2.

II.3 / Mise au point

L'image définitive A_2B_2, pour être vue distinctement par l'observateur, doit être située entre le punctum proximum (distance minimale de vision distincte) de l'œil, c'est à dire entre 25cm et l'infini pour un œil normal.

La latitude de mise représente la distance dont un peut déplacer l'ensemble du microscope par rapport à l'objet tout en le voyant net. Elle est en général faible, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres.

II.4 / Constantes optiques d'un microscope

a) **Grandissement :** Le grandissement γ_{ob} de la lentille objectif est le rapport d'une dimension de l'image à la dimension correspondante de l'objet :

$$\gamma_{ob} = \frac{A_1B_1}{AB}$$

b) **Puissance :** La puissance est le rapport de l'angle α (ou diamètre apparent) sous lequel on voit l'image à longueur de l'objet soit :

$$P(\text{dioptries}) = \frac{\alpha(radian)}{AB(mètre)}$$

La relation précédente peut s'écrire :

$$P = \frac{\alpha}{A_1B_1} \cdot \frac{A_1B_1}{AB}$$

A_1B_1 étant la longueur de l'image intermédiaire, $\frac{\alpha}{A_1B_1}$ est la puissance de l'oculaire . $\frac{A_1B_1}{AB}$ est le grandissement γ_{ob} de l'objectif.

On a donc : $$P = \gamma_{ob} . P_{oc}$$

La puissance d'un microscope est égale au produit de la puissance de l'oculaire par le grandissement de l'objectif.



c) **Grossissement :** Le grossissement est le rapport du diamètre apparent de l'image de l'objet à travers l'instrument au diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu à la distance minimale de vision distincte d_m.

L'objet étant très petit, on peut confondre l'angle et sa tangente : $tg\alpha = \alpha = \frac{AB}{dm}$

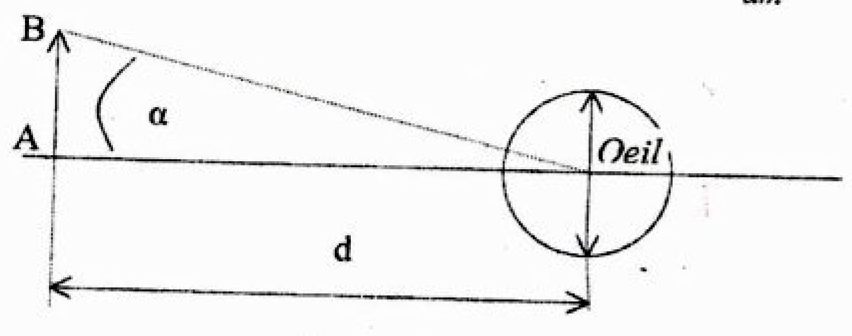


Figure : 2

$G = \frac{\alpha}{AB} dm$ $\qquad$ $G = Pd_m$

Le grossissement d'un microscope est égal au produit de sa puissance par la distance minimum de vision distincte de l'œil qui observe .

Remarque : Le grossissement correspondant à l'œil normal pour lequel d=25cm s'appelle le grossissement commercial .

*III / **Manipulation***

*III.1 / **Réglage de l'oculaire***

Eclairer convenablement l'objectif

Dans la manipulation, on utilise un micromètre oculaire M_2 situé entre la lentille de champ et la lentille de l'œil.

Déplacer par vissage, la lentille de l'œil jusqu'à voir nettement le micromètre oculaire.

L'image M'_2 du micromètre oculaire M_2 est alors à la distance de vision distinctes, environ 25cm.

*III.2 / **Réglage de l'objectif***

Il considère à amener l'image A_1B_1 donnée par l'objectif dans le plan du micromètre oculaire M_2 de façon à obtenir deux images finales A_2B_2 et M'_2 situées dans un même plan.



Placer sur la platine la plaquette de verre sur laquelle est gravé le micromètre objectif. Au moyen de la vie latérale à tête molettée amener la lentille frontale de l'objectif au voisinage immédiate de l'objet.

Regarder alors dans l'appareil et remonter lentement le tube jusqu'à voir les défauts du verre.

Déplacer alors la lame pour amener le micromètre dans le champ de l'appareil.

Terminer alors la mise au point de façon à ce que l'image apparaisse avec le maximum de netteté à l'aide de la vis de réglage fin.

III.3 / Grandissement de l'objet :

Le micromètre objectif est constitué :

Soit par une grille dont le côté des petits carrés mesure 0,05mm. Cette distance représente une division de la grille micromètre.

Soit par une lame graduée et dont la distance entre deux traits consécutifs est de 0,01mm (cf. fig. 3). Sur le micromètre oculaire, la distance entre 2 trais consécutifs est de 0,1mm.

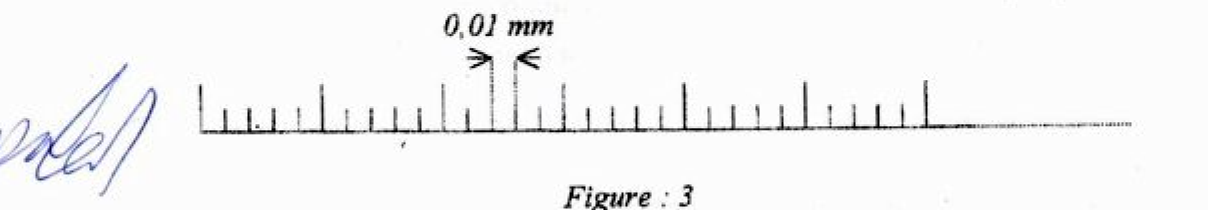


Figure : 3

Soit l'objet AB constitué par N divisions du micromètre objectif, auxquelles correspondant N' divisions du micromètre oculaire.

Déterminer le grandissement $(\gamma_{ob} \pm \Delta\gamma_{ob})$ pour les trous objectifs en faisant la meilleure mesure possible.

Mettre ces résultats sous forme d'un tableau :

	$N_{(div)}$	$N'_{(div)}$	γ_{ob}	$\Delta\gamma_{ob}$
Objectif 1	100	40	4	
Objectif 2	100	100	10	
Objectif 3	~~35~~ 26	100	38,46	

N= Divisions du micromètre objectif 0,01 mm.

N'= Divisions du micromètre oculaire. 0,1 mm

III.4 / **Mesure de la puissance oculaire :**

La dimension d'une image réelle est directement évaluée en la faisant apparaître dans le plan d'un micromètre, par contre, celle d'une image virtuelle en peut être mesurée directement.

On a recours à un artifice technologique constitué par l'emploi d'une chambre claire. Ce dispositif (fig.4) est constitué : par deux prismes à réflexions totales qui permet l'observation simultanée (dans un même plan) d'une feuille de papier millimétré placée à côté du microscope et des micromètres. Ainsi, la mesure d'une image virtuelle se réalise en faisant apparaître dans son plan l'image virtuelle, non agrandie d'une échelle graduée. Il suffit alors de comparer les dimensions de l'image à l'échelle virtuelle apparaissant par réflexion.

La puissance de l'oculaire se détermine à l'aide de la chambre claire en prenant pour objet le micromètre oculaire. Il est conseillé d'ôter le micromètre objectif de la platine afin d'éviter toute erreur.

L'expression de la puissance oculaire est :

$$P_{oc} = \frac{\alpha'}{A_1B_1}$$

où a représente l'angle sous lequel on voit l'image A_2B_2 de l'objet AB à travers l'instrument à la distance minimale de vision distincte d_m. L'angle étant petit, on l'assimile à sa tangente d'où

$$\alpha' = \frac{A_2B_2}{d_m}$$

On a alors :

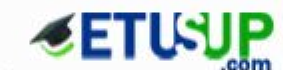
$$\alpha P_{oc} = \frac{A_2B_2}{A_1B_1} x \frac{1}{d_m}$$

Si à N' divisions du micromètre oculaire, correspondant N » mm sur la feuille de papier millimétré, donner l'expression de P_{oc} en fonction de N', N » et d_m .

Faire 3 mesures en faisant varier N'. Calculer P_{oc} dans chaque cas. Donner la valeur moyenne de P_{oc} et l'incertitude DP_{oc} calculée par l'écart à la moyenne.

Mettre ces résultats sous forme d'un tableau . On prendra d_m=0,25m.

Donner la valeur moyenne de la puissance totale avec son incertitude.



III.5 / ***Mesure du grossissement total :***

Pour l'évaluer, on utilisera encore la chambre claire comme précédemment mais en prenant pour objet le micromètre objectif.

Remplacer ce dernier sur la platine, refaire la mise au point.

Tourner le micromètre oculaire de 90° pour ne pas confondre les 2 micromètres.

L'expression de G est $G=\frac{\alpha'}{\alpha}$

Où a représente l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu à la distance minimale de vision distincte d_m.

L'angle étant petit, on l'assimile à sa tangente d'où :

$$\alpha = \frac{AB}{d_m}(fig2)$$

D'après le paragraphe précédent, on a : $\alpha'=\frac{A_2B_2}{d_m}$, on obtient donc : $G=\frac{A_2B_2}{AB}=P.d_m$.

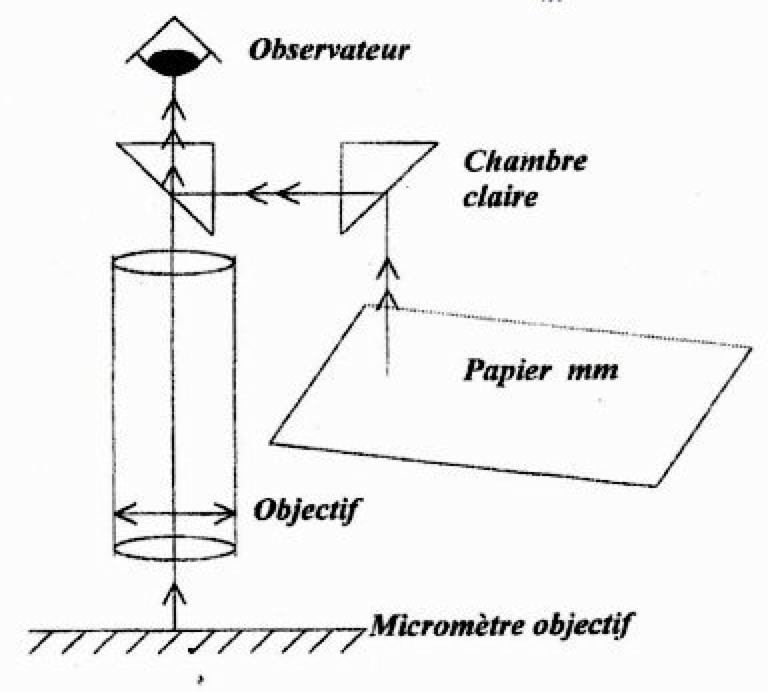


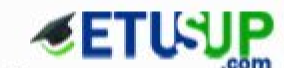
Figure : 4

Si à N divisions de la grille micromètre objectif correspondant N » mm sur la feuille de papier millimétré, donner l'expression de G en fonction de N et N''.

Effectuer 3 mesures. Calculer G dans chaque cas.

Donner la valeur moyenne de G et son incertitude

Mettre ces résultats sous forme d'un tableau



Donner la valeur moyenne de la puissance totale et son incertitude en prenant $d_m = (0{,}25 \pm 0{,}03m)$.

Comparer avec celle obtenue précédemment.

III.6 / ***Mesure d'objets***

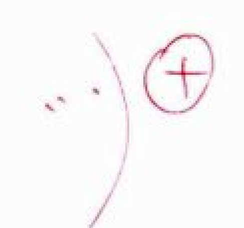
On se propose de mesurer le diamètre de 2fils F_1 et F_2.

Placer l'objet à mesurer sur la platine du microscope et mettre au point.

Compter le nombre d de division du micromètre oculaire qui recouvrent l'image de l'objet donnée par l'objectif.



- Donner l'expression de D (dimension réelle de l'objet), en fonction de d et de γ_{ob} (grandissement de l'objectif).
- Donner la valeur du diamètre moyen de chaque fil. (Effectuer 3 mesures à différents endroits).





FOCOMOTRIE

I/ But

Le but de cette manipulation est de déterminer les distances focales de 2 lentilles minces (une lentille convergente et une lentille divergente).

II/ Rappels

Une lentille mince est par définition dont l'épaisseur est faible devant le rayon de courbure de chacune de ses faces.

Par convention, l'axe principal de la lentille est orienté positivement dans le sens de propagation de la lumière. L'origine est pris au centre optique de la lentille.

Rappelons brièvement les définitions et notions suivantes :

- L'espace objet est l'espace compris entre $-\infty$ et la lentille
- L'espace image est l'espace compris entre la lentille et $+\infty$
- Un objet est réel s'il est dans l'espace objet.
- Une image est réelle si elle se forme dans l'espace image. Elle peut alors être matérialisée sur un écran.
- Un objet est virtuel s'il est dans l'espace image
- Une image est virtuelle si elle se forme dans l'espace objet.
- Les foyers principaux objet F et image F' sont symétriques l'un de l'autre par rapport à O.
- La distance focale d'une lentille mince est la distance focale image $f' = \overline{OF'}$.
- Pour une lentille convergente, le foyer principal image F' est réel $f' = \overline{OF'}$ et positif. Le foyer principal objet F est aussi réel (figure 1).

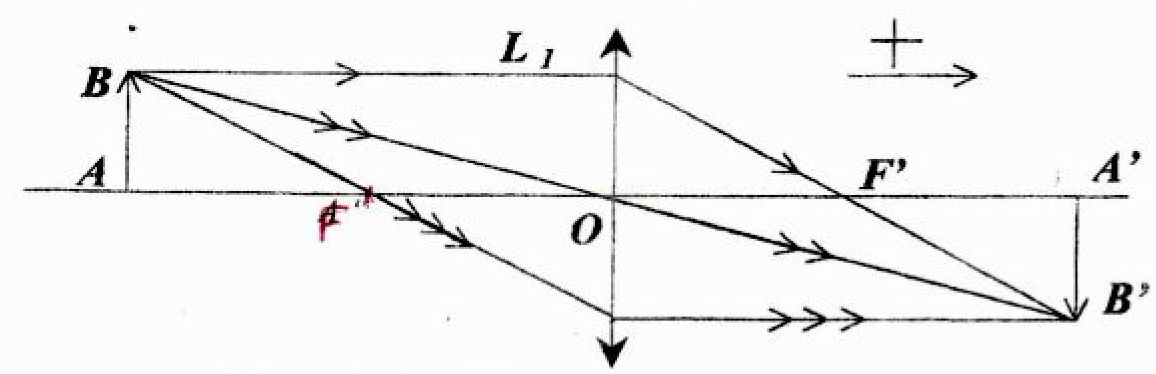


Figure 1 : Lentille convergent L_1

Remarquons que l'objet AB est réel et l'image A'B' est réelle.

- Pour une lentille <u>divergente,</u> le foyer principal image F' est virtuel et $f' = \overline{OF'}$ est négative. Le foyer principal objet F est virtuel (figure 2)

- <u>Formule de conjugaison</u>

Les positions des points conjugués A et A' , et des foyers F et F' sont repérées par leurs abscisses comptées sur l'axe optique pris comme axe des coordonnées avec comme origine le centre optique O de la lentille

Si $\overline{OA} = p \qquad \overline{OA'} = p' \qquad \overline{OF'} = f$

B L1 B' A F' A' O F + Espace objet Espace image

<u>Figure 2 :</u> lentille divergent L_1

La formule de conjugaison pour les lentilles minces s'écrit

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'} \qquad \text{(relation de Descartes)}$$

avec pour un objet réel : p < O

pour un objet virtuel : p > O

pour une image réelle : p' > O

pour une image virtuelle : p' < O

La relation de Descartes est valable aussi bien pour les lentilles convergentes que pour les lentilles divergentes. Dans le premier cas f' > 0 et dans le deuxième cas f' < 0.

*III/ **<u>Principe</u>***

On dispose d'un banc optique gradué sur lequel coulissent des supports mobiles qui porteront les lentilles L_1 et L_2 à étudier ainsi qu'un écran E, un porte-objet et un miroir.

Une vis moletée permet d'immobiliser chaque support sur le bac et un index permet de repérer son abscisse.

L'objet AB sera matérialisé par une « flèche » gravée sur un porte-objet . Une somme lumineuse blanche servira à éclairer l'objet.

Ne pas oublier de prendre comme origine des valeurs algébriques le centre optique de la lentille.

Du soin porté à la recherche d'une image nette sur l'écran et au relevé des abscisses sur le banc découlera l'exactitude des résultats.

IV/ Manipulation

IV.1/ Détermination de la distance focale d'une lentille mince convergente

Pour déterminer la distance focale de la lentille L_1 , on peut utiliser plusieurs méthodes expérimentales parmi lesquelles on peut citer la méthode d'autocollimation, la méthode des points conjugués, la méthode de Bessel et la méthode de Silberman.

IV.1.1/ Méthode d'autocollimation

Principe : Soit a un point objet situé dans le plan focal objet de la lentille L_1. Le faisceau qui émerge le L_1 est parallèle à la direction OA_1 : si on place un miroir plan M à la suite de L_1, le faisceau réfléchi par M revient converger au point A_1, également situé dans le plan focal objet et symétrique de A par rapport à F_1 .

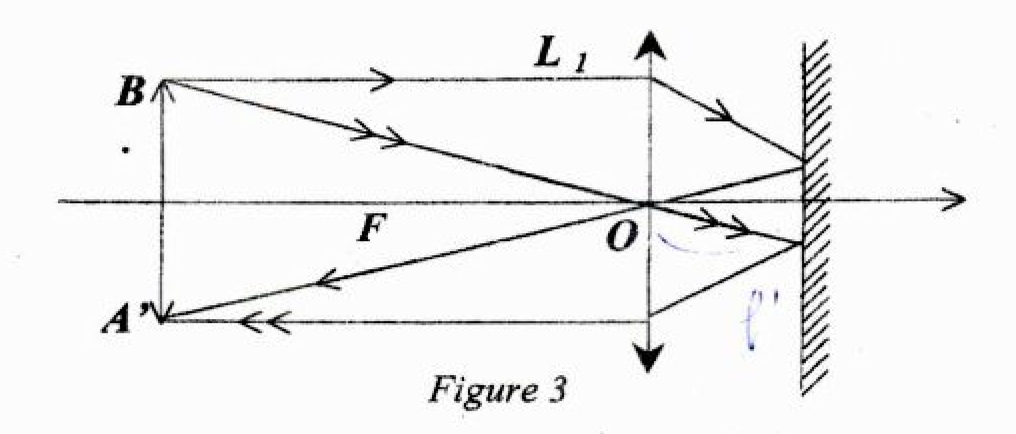


Figure 3

$f'_1 = 10,7$ cm $f'_2 = 6,6$ cm
$f'_2 = 10,9$ $f'_3 = 10,5$

Mode opératoire : Placer un miroir M derrière la lentille L_1 normalement au faisceau. Déplacer l'ensemble lentille L_1 et miroir M de manière l'image de l'objet dans le plan de cette dernière .

La distance focale f' est alors obtenue en mesurant la distance de l'objet à la lentille.

Mesures : Effectuer une série de mesure (f'_1), $(f'_2)_2$, $(f'_3)_3$,...... En déduire la moyenne $(f'_1)_m$. Calculer le plus grand des écarts $(f'_1)_i$-$(f')_m$ entre un quelconque des résultats $(f'_1)_i$ et la moyenne des mesures $(f'_1)_m$. Le plus grand écart sera considéré comme l'incertitude $\Delta f'_1$ sur la mesure de f'_1.

Présenter le résultat sous la forme :

$$f'_1 = (f'_1)_m \pm \Delta f'_1$$

$(f'_1)_m = 10,4$ OK.

VI.1.2/ ***Méthode des points conjugués***

Principe : De la relation de Descartes, on déduit la valeur de f'.

$$f' = \frac{PP'}{p - p'}$$

Les mesures de p et p' permettent donc la détermination de f' (figure 1).

Mode opératoire : On prendra une distance de l'objet à la lentille L_1 supérieure à $f'_1 (|p| > f)'_1$.

Dans ce cas, l'image est réelle et située dans l'espace image de la lentille L_1. Pour avoir des mesures précises, prendre p de façon que l'image soit plus petite que l'objet $(|p| > 2f'_1)$.

Cette image peut dont être matérialisée sur un écran . En déduire p' et par la suite f'_1 d'après ma formule avancée plus haut . Faire une seule mesure de f'_1.

Calculer $\Delta f'_1$ d'après Δp et Δp', avec :

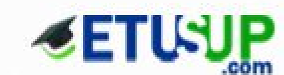
Δp : Incertitude de lecture en maintenant la lentille fixe.

Δp' : Incertitude de mise au point. La lentille étant dans une position maintenue fixe. On déplace l'écran de telle manière à déterminer l'intervalle dans lequel l'image reste nette. Cet intervalle vaut alors 2Δp'. (Figure 4).

REMARQUE : Ne pas oublier de respecter les conventions de signes citées dans les rappels :

P < o : objet réel

P'> o : image réelle.



Comparer le résultat de f'_1 obtenu par cette méthode à celui qui est obtenu par la méthode d'autocollimation. Conclusion ?

Donner le résultat sous forme de f $f_1^{'} \pm \Delta f_1^{'}$

IV.2/ Détermination de la distance focale d'une lentille divergente

Principe : Pour déterminer la distance focale d'une lentille mince divergente L_2, on utilisera la méthode des points conjugués. On appliquera la relation de Descartes.

$$f = \frac{pp'}{p - p'}$$

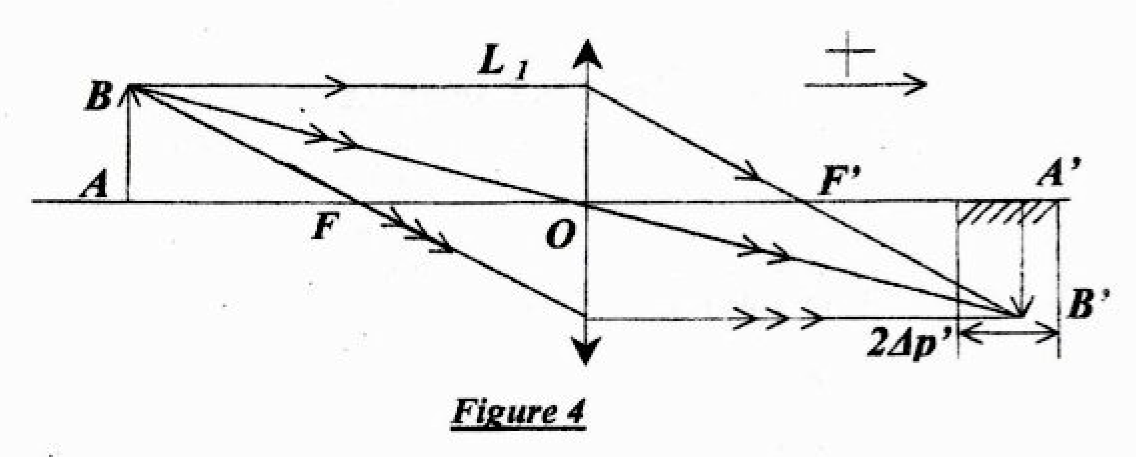


Figure 4

Cependant pour obtenir une image réelle, la seule pouvant être mise en évidence sur un écran, il faut disposer, pour la lentille divergente, d'un objet virtuel. Cet objet virtuel sera obtenu à partir d'un objet et d'une lentille convergente. Nous serons donc obligés de faire la manipulation en deux temps. (figure 5).

1/ Une lentille convergente L_1 donne d'un objet $\overline{AB}$ une image réelle $\overline{A'B'}$.

2/ L'image $\overline{A'B'}$ joue le rôle d'un objet virtuel pour la lentille divergente L_2 qui en donne une image réelle $\overline{A''B''}$.

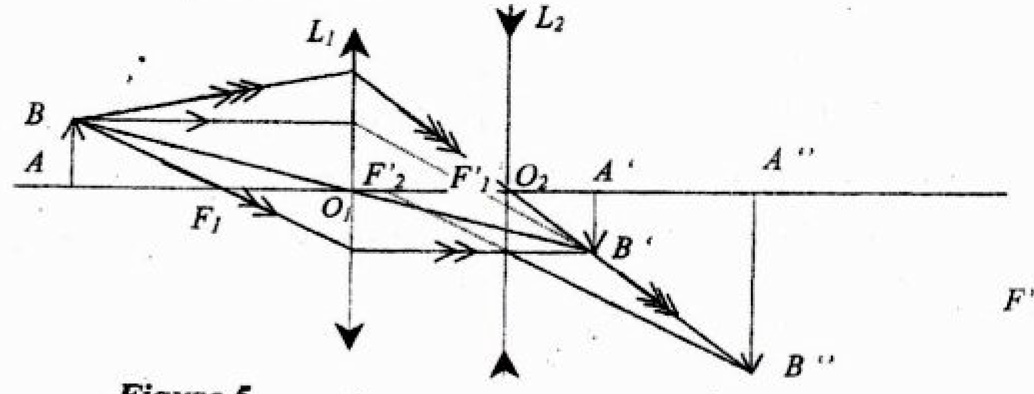


Figure 5

Mode opératoire :

1/ Réalisation de l'objet virtuel pour la lentille L_2 : Placer L_1 sur le banc . Elle donne de la source $\overline{AB}$ une image réelle $\overline{A'B'}$ (s'arranger pour obtenir comme dans la partie IV.1.2., une image $\overline{A'B'}$ plus petite que l'objet $\overline{AB}$, pour faciliter à la fin la recherche de l'image $\overline{A''B''}$).

L'image $\overline{A'B'}$ est mise en évidence sur l'écran. Noter sa position . Dès lors, on ne touchera ni à L_1, ni à l'objet pour éviter de déplacer $\overline{A'B'}$.

2/ Réalisation de l'image réelle ($\overline{A''B''}$) : Placer L_2 entre $\overline{A'B'}$ et L_1. Déplacer ensuite l'écran jusqu'à ce qu'on obtienne une image nette $\overline{A''B''}$. Dans ces conditions, $\overline{A''B''}$ est l'image réelle donnée par L_2 de l'objet virtuel. On a donc :

$\overline{O_2A'} = p$ et $\overline{O_2A''} = p'$ dans ce cas p et p' sont positifs. En déduire f_2 la distance focale de L_2 ($f'_2 < 0$). Donner l'incertitude $\Delta f'_2$.

